



中华人民共和国国家标准

GB/T 42036—2022

矿井高压电网单相接地电容 电流检验规范

Testing specification of single-phase grounding capacitive current in
high-voltage power network of mine

2022-10-12 发布

2022-10-12 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检验基本条件 2

5 技术要求及检验规则 2

6 检验方法 2

7 判定规则..... 10

8 检验报告..... 10

附录 A（资料性） 估算法 12

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国煤炭工业协会提出并归口。

本文件起草单位：中检集团公信安全科技有限公司、国能神东煤炭集团有限责任公司、中国安全生产科学研究院、中国煤炭工业协会生产力促进中心、江苏广识电气有限公司、中国矿业大学、中煤科工集团沈阳研究院有限公司、北京清能电气有限公司。

本文件主要起草人：张振安、王存飞、李双会、宋宪旺、贺海涛、张盛敏、罗文、郑厚发、史丽萍、李鸿斌、荀明利、何广东、刘建华、杨扬、陈奎、王帅、高天强。

矿井高压电网单相接地电容 电流检验规范

1 范围

本文件规定了矿井高压电网单相接地电容电流的检验基本条件、技术要求、检验方法、检验规则、判定规则及检验报告要求。

本文件适用于矿井 6 kV、10 kV 等级电网单相接地电容电流的检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

DL/T 308—2012 中性点不接地系统电容电流测试规程

3 术语和定义

DL/T 308—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

中性点不接地系统 **system with non-effectively earthed neutral**

中性点不直接接地的三相电力网。

[来源:DL/T 308—2012,3.1]

3.2

电容电流 **capacitive current**

I_c

无补偿的中性点不接地系统发生单相金属性接地时的容性电流。

3.3

接地电流 **grounding current**

由于电力系统故障而流入大地的电流。

注:接地电流含有电容电流、谐波电流、有功电流。

3.4

补偿电流 **compensation current**

在中性点不接地系统的中性点接入消弧线圈后,系统单相金属性接地时流经消弧线圈的感性电流。

[来源:DL/T 308—2012,3.3]

3.5

直接测量法 **direct method of measurement**

对系统直接测量单相人工金属性接地电流的测量方法。

[来源:DL/T 308—2012,3.6]

3.6

间接测量法 indirect method of measurement

系统无需人工金属性接地,接入某些元件或注入特定的测量信号,进行测试再作计算的测量方法。

[来源:DL/T 308—2012,3.7]

4 检验基本条件

4.1 测量应在矿山地面主变电所内进行,环境温度应为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度应不高于 80%。

4.2 测量不应在雨、雾、雪天气时进行。

4.3 测量环境海拔高度宜低于 1 000 m,海拔高度超过 1 000 m 的地区应采取防止试验设备凝露的措施。

4.4 检验人员应具备高压电气操作技能,熟悉被测矿井电网基本情况。

4.5 现场检验时应制定安全技术措施并宣贯执行。

4.6 检验用仪器仪表安全性能应满足试验要求,经检定或校准合格并在有效期内。

5 技术要求及检验规则

5.1 技术要求

5.1.1 煤矿 6 kV 及以上高压电网单相接地电容电流:生产矿井应不大于 20 A,新建矿井应不大于 10 A。

5.1.2 金属非金属矿山向井下供电的 6 kV、10 kV 系统单相接地电容电流应不大于 10A。

5.2 检验规则

5.2.1 矿井供电系统安装完毕,投入运行正常后,应进行矿井高压电网单相接地电容电流的检验。

5.2.2 矿井供电系统扩容,供电电缆敷设长度增加或其他有可能导致矿井高压电网单相接地电容电流发生明显增大时,应及时对矿井高压电网单相接地电容电流进行检验。

6 检验方法

6.1 直接测量法

6.1.1 适用范围

直接测量法即单相金属接地法。该方法适用于无消弧线圈补偿的电网和投入消弧线圈补偿的电网。

6.1.2 无消弧线圈补偿的电网

6.1.2.1 无消弧线圈补偿的高压电网单相接地电容电流测量原理图如图 1 所示。

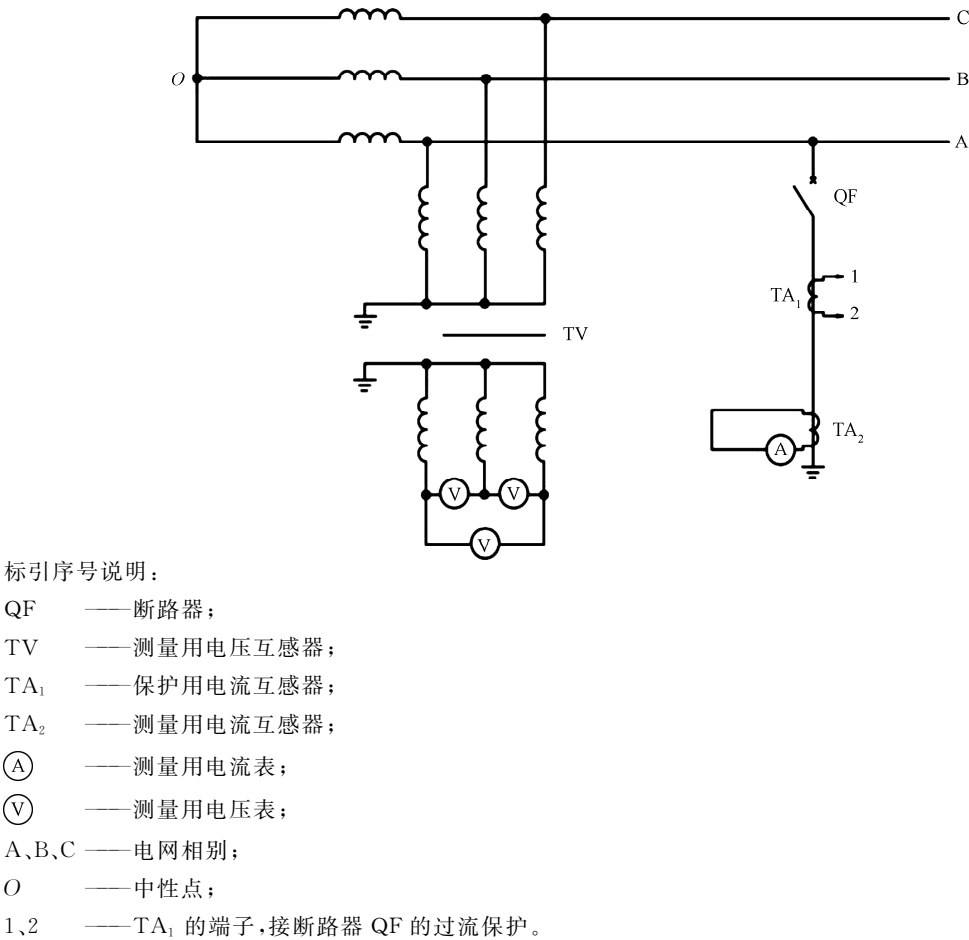


图 1 无消弧线圈的电网测量原理示意图

- 6.1.2.2 测量步骤如下：
- a) 为合理确定保护定值及选取仪器设备量程，参照附录 A 中的方法估算单相接地电容电流；
 - b) 按图 1 原理接线；
 - c) 合上断路器 QF，读取图 1 中所示电压表、电流表的测量数值，读取完毕后立即分开断路器 QF；
 - d) 三相轮流接地测量，结果取最大值。
- 6.1.2.3 注意事项如下：
- a) 测量前应消除系统绝缘缺陷，宜在电气预防性试验合格后进行；
 - b) 应将断路器 QF 的三相触头串联使用，且应有保护，其保护瞬时动作电流应整定为 I_C 的 4 倍～5 倍；
 - c) 仪表的准确度应不低于 0.5 级，电压、电流互感器准确度应不低于 1.0 级。
- 6.1.2.4 数据处理步骤如下：
- a) 从图 1 中电流表读取的电流值换算至一次侧的结果视为电网的单相接地电容电流 I_C ；
 - b) 若测量时的电压不是额定值，则应将测得的电流 I_C 按公式(1)折算到额定电压时的数值。

$$I_{C_e} = I_C \frac{U_c f_c}{U_{av} f} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I_{C_e} ——换算至额定电压下的单相接地电容电流，单位为安[培](A)；

I_C ——单相接地电容电流，单位为安[培](A)；

U_e —— 额定电压,单位为伏[特](V);

f_e —— 电网额定频率,单位为赫兹(Hz);

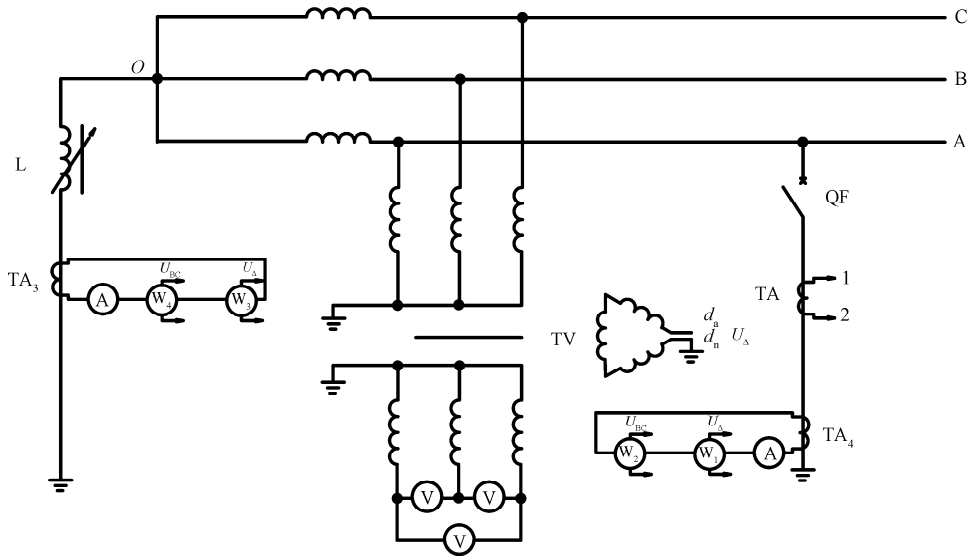
U_{av} —— 试验时三相线电压的平均值,单位为伏[特](V);

f —— 检验时,电网实际频率,单位为赫兹(Hz)。

- c) 如上述测量到的电容电流 I_C 数值与估算值差别较大,考虑该电流中含有较多的非容性电流成分:谐波电流、有功电流,应采用电能质量测试仪对 TA_2 信号及电压互感器二次侧开口三角电压进行测量及分析,获取准确的单相接地电容电流。

6.1.3 投入消弧线圈的电网

6.1.3.1 中性点投入消弧线圈时,电网单相接地电容电流测量原理图如图 2 所示。



标引序号说明:

L —— 消弧线圈;

QF —— 断路器;

TV —— 测量用电压互感器;

TA —— 保护用电流互感器;

TA_3 —— 测量残余电流用电流互感器;

TA_4 —— 测量补偿电流用电流互感器;

W_1 —— 低功率因数功率表,用以测量残余电流产生的有功功率;

W_2 —— 低功率因数功率表,用以测量残余电流产生的无功功率;

W_3 —— 低功率因数功率表,用以测量补偿电流产生的有功功率;

W_4 —— 低功率因数功率表,用以测量补偿电流产生的无功功率;

(A) —— 测量用电流表;

(V) —— 测量用电压表;

A、B、C —— 电网相别;

O —— 中性点;

U_{BC} —— B、C 线电压;

U_{Δ} —— 电压互感器二次侧开口三角电压;

d_a 、 d_n —— 电压互感器二次侧开口三角绕组端子;

1、2 —— TA 的端子,接断路器 QF 的过流保护。

图 2 投入消弧线圈的电网测量原理示意图

6.1.3.2 测量步骤如下：

- a) 为合理确定保护定值及选取仪器设备量程,参照附录 A 中的方法估算单相接地电容电流；
- b) 按图 2 原理接线；
- c) 合上断路器 QF,读取图 2 中所示电压表、电流表以及功率表的测量数值,读取完毕后立即分开断路器 QF；
- d) 三相轮流接地测量,结果取最大值。

6.1.3.3 注意事项如下：

- a) 测量前应消除系统绝缘缺陷,宜在电气预防性试验合格后进行；
- b) 应将断路器 QF 的三相触头串联使用,且应有保护,其保护瞬时动作电流应整定为 I_C 的 4 倍~5 倍；
- c) 仪表的准确度不低于 0.5 级,电压、电流互感器准确度不低于 1.0 级,测量功率应用低功率因数功率表。

6.1.3.4 数据处理步骤如下：

- a) 根据测量数据按公式(2)计算电网单相接地电容电流；

$$I_C = \sqrt{\left(\frac{k_1 P_1 - k_2 P_3}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{k_2 Q_4 - k_1 Q_2}{U_{BC}}\right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

I_C ——单相接地电容电流,单位为安[培](A)；

k_1 ——测量残余电流用电流互感器的变流比；

P_1 ——功率表 W_1 测的残余电流产生的有功功率,单位为瓦[特](W)；

k_2 ——测量补偿电流用电流互感器的变流比；

P_3 ——功率表 W_3 测的补偿电流产生的有功功率,单位为瓦[特](W)；

U_0 ——中性点不对称电压,通过电压互感器二次侧电压表读取, $U_0 = U_\Delta$,单位为伏[特](V)；

Q_4 ——功率表 W_4 测的补偿电流产生的无功功率,单位为伏安(VA)；

Q_2 ——功率表 W_2 测的残余电流产生的无功功率,单位为伏安(VA)；

U_{BC} ——B、C 线电压。

- b) 若测量时系统的电压不是额定值,则计算出的单相接地电容电流应按公式(1)折算为额定电压时的电流。

6.2 间接测量法

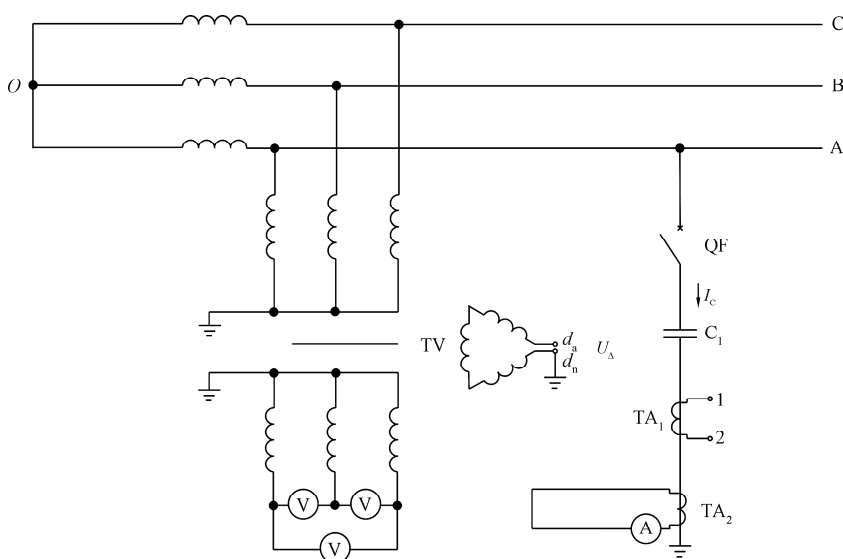
6.2.1 偏置电容法

6.2.1.1 适用范围

本方法适用于 6 kV、10 kV 电网中性点不接地系统。

6.2.1.2 测量方法

6.2.1.2.1 原理图见图 3。



标引序号说明:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| C_1 | —— 偏置电容； |
| QF | —— 断路器； |
| Ⓐ | —— 测量用电流表； |
| Ⓥ | —— 测量用电压表； |
| TV | —— 电压互感器； |
| TA ₁ | —— 保护用电流互感器； |
| TA ₂ | —— 测量用电流互感器； |
| A、B、C | —— 电网相别； |
| O | —— 中性点； |
| U _Δ | —— 电压互感器二次侧开口三角电压； |
| d _a 、d _n | —— 电压互感器二次侧开口三角绕组端子； |
| 1、2 | —— TA ₁ 的端子，接断路器 QF 的过流保护。 |

图 3 偏置电容法原理示意图

6.2.1.2.2 测量步骤如下:

- 为合理确定保护定值及选取仪器设备量程,参照附录 A 中的方法估算单相接地电容电流;
- 按图 3 原理接线;
- 合上断路器 QF,读取电压表、电流表的测量数值,读取完毕后立即分开断路器 QF;
- 三相轮流测量,结果取最大值。

6.2.1.2.3 注意事项如下:

- a) 测量前应消除系统绝缘缺陷,宜在电气预防性试验合格后进行。
- b) 应将断路器 QF 的三相触头串联使用,且应有保护,其保护瞬时动作电流应整定为 I_c 的 4 倍~5 倍。
- c) 电流表、电压表准确度应不低于 0.5 级;电压互感器、电流互感器准确度应不低于 1.0 级;串接电容器的连接导线应选用截面积不小于 15 mm^2 的铜芯电缆。
- d) 选取的偏置电容额定电压应不低于被测电网电压,所形成的中性点偏移电压,最小值宜大于 3.5% 的相电压(电网自然产生的中性点偏移电压最大值),最大值限制在 15% 相电压内(系统运行允许的最大不平衡度)。中性点偏移电压以 5%~10% 相电压为宜。按照此范围,所选取的偏置电容容值不应大于三相总对地电容总容值的 10%,且不应小于三相总对地电容总容值

的 3.5%，建议选取电容容值为三相对地电容总容值的 5%~8%。

- e) 投入电容器瞬间将产生合闸涌流，应在系统稳定后读取测量数据。
- f) 偏置电容器应装在高压柜内或密闭容器内，并做好隔离及安全防护，在每次投入电容器前，应对电容器进行放电操作。

6.2.1.2.4 根据测量数据按公式(3)计算电网单相接地电容电流。

$$I_c = \frac{U_n}{U_o} \times I_c$$

.....(3)

- 式中：
- I_c ——单相接地电容电流，单位为安[培](A)；
 - U_n ——电网电压互感器二次侧的线电压，单位为伏[特](V)；
 - U_o ——试验时电网电压互感器二次侧开口三角的电压，单位为伏[特](V)；
 - I_c ——流过偏置电容的电流，单位为安[培](A)。

6.2.2 单相经电阻接地法

6.2.2.1 适用范围

本方法适用于 6 kV、10 kV 电网中性点不接地和经消弧线圈接地系统。

6.2.2.2 测量方法

6.2.2.2.1 原理图见图 4。

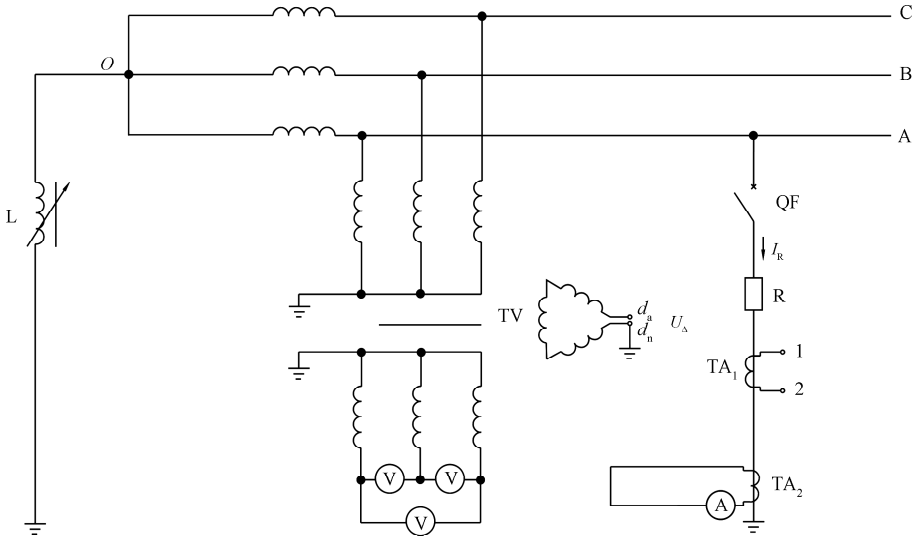


图 4 单相经电阻接地法原理示意图

标引序号说明：

- R —— 电阻；
 L —— 消弧线圈；
 QF —— 断路器；
 Ⓐ —— 测量用电流表；
 Ⓥ —— 测量用电压表；
 TA₁ —— 保护用电流互感器；
 TA₂ —— 测量用电流互感器；
 A、B、C —— 电网相别；
 O —— 中性点；
 U_Δ —— 电压互感器二次侧开口三角电压；
 d_a、d_n —— 电压互感器二次侧开口三角绕组端子；
 1、2 —— TA₁ 的端子，接断路器 QF 的过流保护。

图 4 单相经电阻接地法原理示意图（续）

6.2.2.2.2 测量步骤如下：

- 为合理确定保护定值及选取仪器设备量程，参照附录 A 中的方法估算单相接地电容电流；
- 按图 4 原理接线；
- 合上断路器 QF，读取电压表、电流表的测量数值，读取完毕后立即分开断路器 QF；
- 三相轮流测量，结果取最大值。

6.2.2.2.3 注意事项如下：

- 测量前应消除系统绝缘缺陷，宜在电气预防性试验合格后进行；
- 应将断路器 QF 的三相触头串联使用，且应有保护，其保护瞬时动作电流应整定为 I_c 的 4 倍～5 倍；
- 电流表、电压表准确度应不低于 0.5 级；电压互感器、电流互感器准确度应不低于 1.0 级；串接电阻的连接导线应选用截面面积不小于 15 mm² 的铜芯电缆；
- 接地电阻按下列原则进行选取：
 - 电阻器功率不小于 6 kW，电压等级不低于 10 kV；
 - 对 6 kV 中性点不接地系统，宜按表 1 选取电阻参数进行试验，可以使中性点偏移电压限制在 15% 相电压内；

表 1 6 kV 中性点不接地系统试验接地电阻选取表

电容电流范围 A	电阻 R 阻值 Ω
$I_c \leq 10$	4 000 ± 500
$10 < I_c \leq 20$	2 000 ± 300
$I_c > 20$	1 000 ± 100

- 对 10 kV 中性点不接地系统，宜按表 2 选取电阻参数进行试验，可以使中性点偏移电压限制在 15% 相电压内；试验时，如无法估算电容电流所处区间，按照阻值从大到小顺序进行，先经高阻值做起，粗算单相接地电容电流所处区间，再确定接地电阻值，进行精确测量；

表 2 10 kV 中性点不接地系统试验接地电阻选取表

电容电流范围 A	电阻 R 阻值 Ω
$I_c \leq 20$	$4\,000 \pm 500$
$I_c > 20$	$2\,000 \pm 300$

4) 对中性点经消弧线圈接地系统,对电阻值的选取可参考以上数据,按照从大到小的原则,只要能保证中性点偏移电压大于 25 V,消弧线圈可靠动作即可。该方法只适用于消弧线圈伏安特性线性的消弧线圈。对伏安特性非线性的消弧线圈,本方法不适用,宜选用直接接地法。

6.2.2.2.4 根据测量数据按公式(4)计算电网单相接地电容电流。

$$I_c = \frac{U_n}{U_o} \times I_R$$

.....(4)

- 式中:
- I_c ——系统单相接地电容电流,单位为安[培](A);
 - U_o ——试验时电网电压互感器二次侧开口三角的电压,单位为伏[特](V);
 - I_R ——流过接地电阻的电流,单位为安[培](A);
 - U_n ——电网电压互感器二次侧的线电压,单位为伏[特](V)。

6.2.3 信号注入法

6.2.3.1 适用范围

本方法适用于未安装电容式电压互感器的 6 kV、10 kV 电网中性点不接地系统。

6.2.3.2 测量方法

6.2.3.2.1 原理图见图 5。

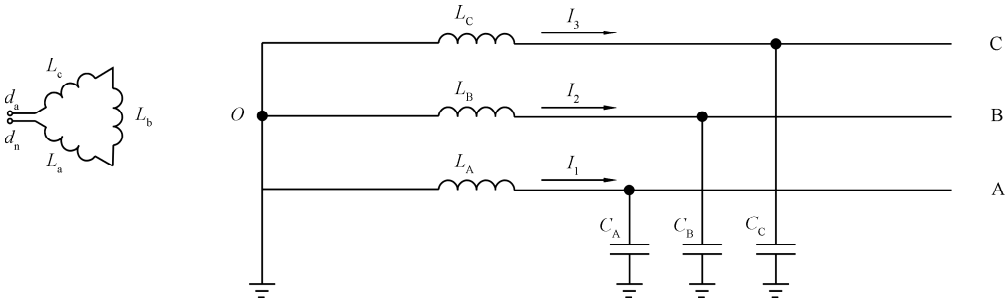


图 5 信号注入法原理示意图

标引序号说明：

L_A, L_B, L_C ——电网电源二次侧 A、B、C 相绕组阻抗；

L_a, L_b, L_c ——电网电源开口三角变压器 a、b、c 相绕组阻抗；

C_A, C_B, C_C ——A、B、C 三相线路对地电容；

A、B、C——电网相别；

O——中性点；

d_a, d_n ——电压互感器二次侧开口三角绕组端子；

I_1, I_2, I_3 ——A、B、C 相中流过的电流。

图 5 信号注入法原理示意图（续）

6.2.3.2.2 将不同频率的信号经电压互感器的低压开口三角处注入电网，由测试仪器读出电网的单相接地电容电流。

6.2.3.2.3 测量步骤如下：

- a) 选择好电压互感器柜；
- b) 将信号端子接入电压互感器开口三角绕组 d_a, d_n 端子；
- c) 将测量仪器接上接地线；
- d) 测取电网单相接地电容电流。

6.2.3.2.4 注意事项如下：

- a) 选用的仪器准确度不低于 1.5 级；
- b) 测量时电压互感器中性点直接接地；
- c) 测量时应断开连接在电压互感器开口三角的其他设备，如各消谐装置（可控硅式、压敏电阻式消谐器除外）、电压继电器等。

7 判定规则

7.1 煤矿矿井高压电网单相接地电容电流符合 5.1.1，则判定合格。

7.2 金属非金属矿山矿井高压电网单相接地电容电流符合 5.1.2，则判定合格。

8 检验报告

8.1 检验报告基本信息如下。

- a) 封面应包括：报告名称；报告编号；委托单位名称；受检单位名称；被检电网名称；检验日期；检验类别；检测检验机构名称；检测检验机构检测检验专用章；资质标识。
- b) 封二声明页应包括：报告检测检验数据仅对当时状态或来样负责；报告无主检、审核、批准人签字无效；报告封面、首页、骑缝未盖“×××（机构名称）检测检验专用章”无效；复制报告，封面、首页、骑缝未重新盖“×××（机构名称）检测检验专用章”无效；报告涂改无效；若对报告有异议，应于收到报告之日起十五日内向检测检验机构提出，逾期视为认可。
- c) 首页应包括：委托单位名称及地址；被检单位名称；被检对象信息；被测母线段别；检验类别；检验地点；检验日期；检验项目；检验依据；存在问题及建议；检验结论；检测检验机构检测检验专用章；检验组成员；批准、审核及主检人员签字。
- d) 检验用仪器设备信息应包括：仪器设备名称；型号规格；仪器设备编号；准确度/分辨率；检定/校准证书编号。
- e) 基本参数及检测结果信息应包括：检验环境参数；实测数据；标准要求；检测检验结果；测试时

电网实际供电网络示意图；必要的导出数据导出过程及计算书。

8.2 检验报告主检、审核、批准人员如下：

- a) 主检人应为检验项目负责人；
- b) 审核人应为经授权的技术人员；
- c) 批准人应为取得相应资格的授权签字人。

附录 A

(资料性)

估算法

A.1 概述

根据电力电缆的截面、结构、材质、敷设长度及运行电压等有关参数,估算出矿井高压电网单相接地电容电流值。

利用估算法确定的矿井高压电网单相接地电容电流近似值可为采用直接测量法、偏置电容法、单相经电阻接地法等精确测量提供参考依据。

A.2 方法

A.2.1 电缆线路

根据电缆厂家提供的单位长度电缆的实测电容电流数据进行估算。若无实测数据,对 10 kV 普通电缆,可用公式(A.1)进行计算,对 6 kV 普通电缆,可用公式(A.2)进行计算。

$$I_C = [(114 + 1.73S) / (2\,200 + 0.23S)] U_e \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$I_C = [(114 + 3.41S) / (2\,200 + 6S)] U_e \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

I_C ——单位长度电缆的电容电流,单位为安[培]每千米(A/km);

S ——电缆芯线截面积,单位为平方毫米(mm²);

U_e ——电网额定线电压,单位为千伏[特](kV)。

根据电网实际情况,按照公式(A.1)、公式(A.2)逐段计算,求取矿井电缆线路总接地电容电流。

A.2.2 架空线路

对于 6 kV 架空线路,平均按 0.02 A/km 计算;对于 10 kV 架空线路,平均按 0.03 A/km 计算。

A.2.3 配电装置

矿井配电装置产生的矿井高压电网单相接地电容电流,按照电缆线路、架空线路产生的矿井高压电网单相接地电容电流的总和,用公示(A.3)计算。

$$I_{Cp} = k I_{Cx} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

I_{Cp} ——配电装置电容电流,单位为安[培](A);

k ——配电装置电容电流增大率(见表 A.1),%;

I_{Cx} ——电缆线路、架空线路电容电流总和,单位为安[培](A)。

表 A.1 配电装置产生的单相接地电容电流的增大率

额定电压 kV	增大率 %
6	18
10	16

A.2.4 电网的单相接地电容电流

电网总的单相接地电容电流为线路、配电装置产生的电容电流之和。
